

Georuszty heksagonalne

stosowane do stabilizacji warstw kruszywa niezwiązanego w nawierzchniach drogowych

tekst: mgr inż. MICHAŁ GOŁOS, zdjęcia: BIURO INŻYNIERII DROGOWEJ DROTEST SP. J.

Georuszty heksagonalne do stabilizacji warstw kruszyw niezwiązanych (tzw. georuszty trójosiowe) są stosowane w Polsce już od ponad ośmiu lat. Ich użycie w inżynierii komunikacyjnej wpływa na wzrost efektywności i uzyskiwanie lepszych niż dotychczas parametrów stabilizowanych warstw kruszywa.

Pojawienie się georusztów heksagonalnych na rynku geosyntetyków spowodowało konieczność wprowadzenia definicji funkcji stabilizacji, opisującej charakter działania i unikalny mechanizm współpracy georusztu z kruszywem. W niniejszym artykule opisano podstawowe cechy georusztów, istotne w funkcji stabilizacji warstwy kruszywa niezwiązanego, a także zwrócono uwagę na różnice w sposobie ich specyfikowania w odniesieniu do funkcji stabilizacji i zbrojeniowej. Praktyczne uwarunkowania dotyczące stosowania tych materiałów zostały opisane na podstawie dwóch realizacji w Polsce.

1. Pojęcie funkcji stabilizacji i mechanizm ząbienia kruszywa przez georuszt

Stabilizacja kruszywa georusztem oznacza poprawę parametrów warstwy mieszanki niezwiązanej (głównie nośności i zagęszczenia) dzięki ograniczeniu możliwości przemieszczenia ziaren kruszywa pod działaniem obciążenia. Ograniczenie to wynika z mechanizmu ząbienia (zaklinowania) ziaren w sztywnym georuszcie. Ząbienie (ang. *interlocking*) związane jest z kolei ze ścisłą współpracą kruszywa i georusztu, poddanych działaniu przyłożonego obciążenia [9]. Mechanizm ten jest efektywny tylko wtedy, gdy występuje pełne unieruchomienie ziaren kruszywa w sztywnych oczkach georusztu podczas układania i zagęszczania warstwy mieszanki niezwiązanej (kruszywo nie ma możliwości przemieszczania się w poprzek lub jest ona znacznie ograniczona). Powoduje to dużą odporność na powstawanie deformacji pionowych, a tym samym uzyskiwanie wysokich wartości modułu sprężystości kruszywa, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu nośności całej warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem [4].

2. Właściwości georusztów kluczowe dla funkcji stabilizacji

Do niedawna wymagania dla georusztów projektowanych w konstrukcjach ulepszonego podłoża definiowane były zgodnie z wymaganiami określonymi w normie zharmonizowanej jak dla funkcji zbrojeniowej. Funkcja ta w rzeczywistości dotyczy jednak jedynie geosyntetyków stosowanych w konstrukcjach z gruntu zbrojonego (stromych skarp, ścian oporowych, przyczółków mostowych) lub do zbrojenia podstaw wysokich nasypów [10]. Kluczowymi parametrami są tu długoterminowa wytrzymałość na rozciąganie, doraźna wytrzymałość na rozciąganie oraz wytrzymałość przy 2% i 5% odkształcenia, a także odkształcenie przy zerwaniu. Parametry te zupełnie nie opisują cech georusztów heksagonalnych i ich zachowania w funkcji

stabilizacyjnej dla warstw ulepszonego podłoża z kruszyw niezwiązanych w konstrukcjach nawierzchni komunikacyjnych. W 2012 r. Europejska Organizacja ds. Ocen Technicznych (EOTA) opracowała dokument oceny dla funkcji stabilizacji, tj. wytyczne określające zakres parametrów niezbędnych do specyfikowania georusztów w tejże funkcji [1]. W sporządzonym przez EOTA raporcie technicznym („EOTA Technical Report” 2012, No. 041, (October), *Niezbrojeniowe georuszty z heksagonalnym układem oczek służące do stabilizacji warstw kruszyw niezwiązanych poprzez ząbienie ziaren kruszywa*) zdefiniowano kluczowe parametry georusztu heksagonalnego istotne dla jego skuteczności w stabilizacji kruszywa niezwiązanego oraz opisano metody badawcze do ich wyznaczenia. Powyższy europejski dokument oceny stanowi także podstawę do wydawania Europejskich Ocen Technicznych [6].

Za cztery podstawowe parametry mające wpływ na efektywność stosowania georusztów w funkcji stabilizacji EOTA uznała: 1) sztywność radialną, 2) współczynnik izotropii sztywności, 3) efektywność węzła oraz 4) wymiar sześcioboku [2, 3].

1) Sztywność radialna to wartość naprężenia uzyskiwanego przy bardzo małym odkształceniu (0,5%) i wyznaczanym we wszystkich kierunkach naprężeń. Wartość sztywności radialnej podawana jest jako minimalna wartość ze wszystkich pomierzonych wartości w zakresie od 0 do 360° [6]. Istotą tego parametru jest określenie sztywności (siły przejmowanej przez georuszt) w zakresie małych, zbliżonych do występujących w realnych warunkach wartości odkształceń.

2) Współczynnik izotropii sztywności określa zdolność do uzyskiwania zbliżonych wartości sztywności we wszystkich kierunkach badania. Określenie wartości tego współczynnika wykonuje się na podstawie wyników badań sztywności radialnej jako iloraz wartości minimalnej i maksymalnej sztywności wyznaczonej dla odpowiedniej liczby wykonanych pomiarów [5]. Dla georusztów heksagonalnych osiągnięte wartości są najwyższe z dostępnych na rynku i wahają się pomiędzy 0,75 a 0,80 [8].

3) Efektywność węzła określa stosunek siły przenoszonej przez pojedyncze zebro do siły przenoszonej przez węzeł, wyrażonej w procentach [5]. W przypadku georusztów heksagonalnych efektywność węzła osiąga wartość 90% (+100%, -10% tolerancji) [9]. Dla geosiatek plecionych, zgrzewanych i ekstrudowanych wartość ta będzie zawsze zdecydowanie mniejsza.

4) Wymiar sześcioboku określa sumę dwóch sąsiednich wysokości trójkątów tworzących oczka sześcioboku. Wymiary oczek dostosowane są do kruszyw o różnym uziarnieniu (żwirowymi i łamanymi o wymiarze maksymalnym ziarna do 16, 31,5 i 63 mm).



Jezdnia wschodnia ul. Ks. Ściegiennego w Kielcach – etap realizacji, listopad 2014 r.



Farma wiatrowa Nowy Staw w trakcie budowy – przekrój przez konstrukcję nawierzchni



Farma wiatrowa Nowy Staw po zakończeniu prac, czerwiec 2013 r.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011, ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG [7], które weszło w życie w lipcu 2013 r., obliguje do specyfikowania wyrobów adekwatnie do ich przewidzianej funkcji w danym zastosowaniu. W kwestii georusztów oznacza to wyraźne rozdzielanie pomiędzy wymaganiami stosowanymi w specyfikacji dla funkcji zbrojeniowej oraz dla funkcji stabilizacji [5].

3. Realizacje z zastosowaniem ulepszonych podłoża w postaci warstw kruszyw stabilizowanych georusztami heksagonalnymi

3.1. Rozbudowa ul. Ks. Ściegiennego w ciągu DK nr 73 w Kielcach

Projekt rozbudowy ul. Ks. Ściegiennego dotyczył odcinka ulicy od al. Ks. J. Popiełuszki do granic miasta Kielce w ciągu drogi krajowej nr 73. Realizacja inwestycji związana była z poszerzeniem i wzmocnieniem nawierzchni istniejącej jezdni zachodniej przez wykonanie nakładki bitumicznej oraz budową nowej drugiej jezdni wschodniej wraz z rozbudową skrzyżowań, budową zatok autobusowych oraz wykonaniem dróg zbiorczych i serwisowych, a także ścieżek rowerowych.

Podłoże pod nową jezdnią stanowiły grunty o bardzo niskiej nośności oraz dużej wilgotności naturalnej. Pod wierzchnią warstwą humusu stwierdzono występowanie warstw glin, przewarstwionych pyłem piaszczystym i piaskiem pylastym. Parametry gruntów budujących podłoże gruntowe w powiązaniu z wysokim poziomem zwierciadła wody gruntowej (poniżej 1 m od powierzchni terenu) powodowały, że założona nośność istniejącego podłoża gruntowego, określona wtórnym modułem odkształcenia E2, wyniosła maksymalnie 8–10 MPa [11].

Na etapie wyboru sposobu wzmocnienia słabonośnego podłoża pod nową jezdnią analizowane były dwie technologie: wykonanie ulepszonych podłoża w postaci warstwy kruszywa niezwiązanego stabilizowanego georusztem oraz technologia stabilizacji kruszywa cementem.

Istotnym czynnikiem przemawiającym za zastosowaniem wariantu z georusztem była wykazana w badaniach podłoża duża zmienność warunków gruntowych. Zastosowanie georusztu pozwala w takiej sytuacji na ujednoczenie pracy konstrukcji na całej jej powierzchni i zniwelowanie potencjalnych problemów wynikających z niejednorodności podłoża. Ponadto ułożenie warstwy sztywnej w postaci stabilizacji spoiwem hydraulicznym bezpośrednio na podłożu o tak niskiej nośności i dużej

odkształcalności stwarzałyby poważne niebezpieczeństwo powstania spękań tej warstwy. Dlatego ostatecznie zdecydowano o zastosowaniu konstrukcji dwuwarstwowej, z podatną konstrukcją w postaci kruszywa niezwiązanego stabilizowanego georusztem bezpośrednio na gruncie i z drugą, górną warstwą z kruszywa stabilizowanego cementem. Dzięki zastosowaniu georusztu heksagonalnego na spodzie warstwy kruszywa udało się stworzyć platformę, która z jednej strony rozkłada obciążenia na zdecydowanie większą powierzchnię kontaktu kruszywo – słaby grunt, z drugiej zaś zapewnia prawidłowe podparcie i „komfort” pracy sztywnej warstwie górnej stabilizowanej cementem.

Ostatecznie wykonano następującą konstrukcję nawierzchni jezdni drogi głównej: [11]:

- podłoże gruntowe po odhumusowaniu i wyrównaniu;
- **dolna warstwa ulepszonych podłoża** w postaci warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem, składająca się z:
 - polipropylenowej geotkaniny jako warstwy separacyjno-filtracyjnej, umożliwiającej oddzielenie drobnych cząstek słabego pylastego podłoża od warstwy kruszywa,
 - georusztu heksagonalnego o sztywności radialnej 540 kN/m i wymiarze oczka 120 mm,
 - kruszywa łamanego o uziarnieniu 0/120 o grubości 35 cm;
- **górną warstwę ulepszonych podłoża** w postaci warstwy kruszywa stabilizowanego cementem o $R_m = 2,5$ MPa o grubości 25 cm;
- nasyp o grubości zmiennej, od 0 m;
- konstrukcja nawierzchni zgodnie z projektem wyjściowym, tj.
 - podbudowa pomocnicza: kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie o grubości 20 cm,
 - podbudowa zasadnicza: AC22P o grubości 18 cm,
 - warstwa wiążąca: AC16W o grubości 9 cm,
 - warstwa ścieralna: SMA11 o grubości 4 cm.

Wykonane metodą mechanistyczną obliczenia sprawdzające trwałość całej konstrukcji nawierzchni w oparciu o dopuszczalne obciążenie osi 115 Kn, prognozowane natężenie ruchu kategorii KR6 oraz okres eksploatacji nawierzchni wynoszący 20 lat, wykazały spełnienie warunku uzyskania założonej nośności i trwałości zmęczeniowej [12].

Realizacja zadania rozpoczęła się w czerwcu 2013 r., a zakończenie całości inwestycji planowane jest na kwiecień br.

3.2. Budowa farmy wiatrowej Nowy Staw koło Malborka

Budowa farmy wiatrowej w okolicach Malborka na terenie Żuław Wiślanych związana była z koniecznością zagospodarowania dużej powierzchni terenu, na którym występują złe warunki

gruntowo-wodne. W ramach inwestycji należało posadzić i zmontować 22 wieże oraz wykonać drogi dojazdowe do każdej z nich. W obu przypadkach, tzn. zarówno w zakresie wykonania platform roboczo-montażowych na potrzeby ustawienia dźwigów montujących elementy wież, jak i wykonania dróg dojazdowych umożliwiających dowiezienie elementów wież, od samego początku rozważano wykonanie wzmocnienia podłoża gruntowego z zastosowaniem geosyntetyków.

Ze względu na przypowierzchniowo zalegające warstwy gruntów organicznych o dużej ściśliwości oraz glin pylastych z domieszkami organicznymi o łącznej miąższości wahającej się pomiędzy 1,5–8,5 m, a także z powodu wysokiego poziomu zwierciadła wody gruntowej, zdecydowano o zastosowaniu geomateracy z kruszywa stabilizowanego georusztami heksagonalnymi [13]. Takie podejście gwarantowało uzyskanie następujących korzyści: uzyskanie wartości nośności i zagęszczenia na wymaganym poziomie, minimalizację nierównomierności osiadań, uzyskanie wzrostu trwałości konstrukcji nawierzchni i placów montażowych, szybką i prostą instalację niezależnie od występujących na budowie warunków pogodowych.

Ostatecznie wybrano dwa typy konstrukcji zasadniczej, w zależności od nośności istniejącego podłoża gruntowego. W miejscu występowania gorszych warunków gruntowych zastosowano dwuwarstwowe materace z kruszywa. Każda z dwóch warstw kruszywa niezwiązanego była oddzielnie stabilizowana georusztem. Ponadto ostatnia, górna, tzw. jezdna warstwa wykonana również z kruszywa niezwiązanego, została zastabilizowana trzecią warstwą georusztu.

Konstrukcja typu 1 dla dróg dojazdowych i placów montażowych posadowionych bezpośrednio na gruntach organicznych, o nośności określonej wtórnym modułem odkształcenia $E2 \geq 3,75$ MPa, o całkowitej grubości 0,8 m, posiadała następującą konstrukcję [13]:

- geotkanina polipropylenowa o CBR=6,0 kN oraz wytrzymałości na rozciąganie w obu kierunkach min. 50 kN/m,
- georuszt heksagonalny o sztywności radialnej 480 kN/m i wymiarze oczka 80 mm,
- warstwa gruzobetonu o grubości 30 cm;
- georuszt heksagonalny o sztywności radialnej 390 kN/m i wymiarze oczka 80 mm,
- warstwa gruzobetonu o grubości 30 cm;
- georuszt heksagonalny o sztywności radialnej 390 kN/m i wymiarze oczka 80 mm,
- warstwa kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/31,5 o grubości 20 cm.

W miejscach zalegania w podłożu glin pylastych z domieszkami organicznymi zastosowano jednowarstwowy materac z kruszywa (konstrukcja typu 2). Podobnie jak w przypadku konstrukcji typu 1, ostatnia, górna, tzw. jezdna warstwa, wykonana została również z kruszywa niezwiązanego, stabilizowanego drugą warstwą georusztu.

Czas realizacji inwestycji wyniósł 14 miesięcy.

4. Podsumowanie

Georuszty heksagonalne (trójosiowe) stosowane do stabilizacji warstw kruszywa w warunkach słabego podłoża gruntowego ugruntowały sobie stabilną pozycję w budownictwie drogowym w Polsce od momentu ich pierwszego zastosowania w roku 2007.

Mechanizm stosowania georusztów heksagonalnych definiuje funkcja stabilizacji, szczegółowo opisana i formalnie zatwierdzona przez Europejską Organizację ds. Ocen Technicznych (EOTA). Kluczowym parametrem oddającym ideę funkcji stabilizacyjnej jest sztywność radialna, określana przy małym odkształceniu. Wciąż jednak pojawiają się projekty i specyfikacje, które nie rozdzielają wyraźnie funkcji stabilizacji od funkcji zbrojeniowej, wskutek czego mamy do czynienia z niewłaściwym opisem wymagań dla georusztów przewidzianych i stosowanych w funkcji stabilizacji. Celem autora w niniejszym artykule było zwrócenie uwagi na właściwe stosowanie georusztów na etapie projektowania i specyfikowania, bo tylko takie podejście daje szansę na ich poprawne użycie w konstrukcjach ulepszonych podłoża nawierzchni drogowych.

Literatura

- [1] European Organization for Technical Approvals, CUAP 01.02/10 *Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate*. „EOTA Technical Report” 2012, No. 041 (October).
- [2] Gołos M.: *5 lat stosowania georusztów trójosiowych Tensar TriAx w Polsce. Funkcja stabilizacji i efektywność współpracy z kruszywem niezwiązanym*. „Magazyn Autostrady” 2013, nr 4.
- [3] Gołos M.: *Georuszty heksagonalne Tensar TriAx w funkcji stabilizacji*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2014, nr 2.
- [4] Judycki J.: *Rola geosiatek Tensar przy wzmacnianiu słabych podłoży gruntowych pod nawierzchniami ulepszonymi*. „Magazyn Autostrady” 2005, nr 1–2.
- [5] Kawalec J.: *Georuszty w geotechnice XXI wieku*. Materiały konferencyjne XXVIII Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat pracy projektanta konstrukcji, Wisła, 5–8 marca 2013, t. 1, s. 213–226.
- [6] Kiwa Nederland B.V. Europejska Aprobata Techniczna ETA 12/0530 *Niezbrojeniowy georuszt z heksagonalnym układem oczek służący do stabilizacji warstw kruszyw niezwiązanых poprzez zazębienie ziaren kruszywa*, Kiwa K76041, 2012.
- [7] *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011, ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG, z 9 marca 2011*. „Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej”, L. 88, z 4 kwietnia 2011.
- [8] Deklaracje właściwości użytkowych dla georusztów Tensar TriAx TX 160, TX 170 i 190L.
- [9] *SST Ulepszone podłoże z mieszanki niezwiązanej stabilizowanej georusztem*. Drotest Sp. z o.o., 2013.
- [10] PN-EN 13 251 *Geotekstylia i wyroby pokrewne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych*.
- [11] *Projekt ofertowy konstrukcji ulepszonych podłoża pod nasypami i nawierzchnią ulicy Ks. Ściegiennego w Kielcach, P-10/2013*. Drotest Sp. z o.o., wrzesień 2013.
- [12] *Obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni ulicy Ściegiennego w Kielcach, P-12/2*.
- [13] *Zalecenie projektowe Farmy wiatrowe Nowy Staw. Drogi dojazdowe oraz place manewrowe do budowy farm wiatrowych*. Drotest Sp. z o.o., czerwiec 2011.



13-15 maja 2015

Lider jest tylko jeden!



AUTOSTRADA-POLSKA

XXI Międzynarodowe Targi Budownictwa Drogowego



IV SALON KRUSZYW

organizowany przy współpracy IMBiGS

MASZBUD

XVII Międzynarodowe Targi Maszyn Budowlanych



EUROPARKING

Międzynarodowy Salon Techniki Parkingowej



ROTRA

VII Międzynarodowe Targi Transportu Drogowego

TRAFFIC -EXPO-TIL

XI Międzynarodowe Targi Infrastruktury



Ceny promocyjne obowiązują do 31 stycznia 2015

WSPÓŁPRACA



Instytut Badawczy Dróg i Mostów
www.ibdim.edu.pl

www.autostrada-polska.pl

Kontakt: Dyrektor Grupy Projektów - Bogusława Grzechowska tel. 41.365 12 10, fax 365 14 26, e-mail: autostrada@targikielce.pl

Targi Kielce SA,



zapobieganie
diagnostyka
naprawy
rekonstrukcje

XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna Międzyzdroje, 20-23 maja 2015

Komitet organizacyjny

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Konferencja „Awarie Budowlane”

Przewodnicząca:

Prof. ZUT dr hab. inż. Maria Kaszyńska

Przewodniczący Komitetu Naukowego:
prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga

70-311 Szczecin, al. Piastów 50
Sekretariat - tel.: 91 449 42 21

Biuro konferencji

Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa
Oddział w Szczecinie

70-483 Szczecin
al. Wojska Polskiego 99
tel.: 91 423 33 52
fax: 91 423 34 97

e-mail: awarie@zut.edu.pl
www.awarie.zut.edu.pl

Warunki uczestnictwa i wszelkie informacje dostępne na stronie www.awarie.zut.edu.pl

ORGANIZATORZY



PATRONAT



PATRONI MEDIALNI



TINES capital group

BUDUJĄCE ROZWIĄZANIA

PERI

SCHOMBURG

awarie budowlane